

Stability of textures in superfluid $^3\text{He-A}$ between coaxial cylinders

著者	Arai Takaaki
内容記述	Thesis--University of Tsukuba, D.Sc.(A), no. 135, 1982. 3. 25
発行年	1982
URL	http://hdl.handle.net/2241/5951

氏 名 (本 籍)	あら	い	なか	あき	昭 (東京都)
学 位 の 種 類	理	学	博	士	
学 位 記 番 号	博	甲	第	135	号
学 位 授 与 年 月 日	昭	和	57	年	3 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 5 条第 1 項該当				
審 査 研 究 科	物理学研究科 物理学専攻				
学 位 論 文 題 目	Stability of Textures in Superfluid $^3\text{He-A}$ Between Coaxial Cylinders (同軸円筒容器における超流動 $^3\text{He-A}$ の構造の安定性)				
主 査	筑波大学教授	理学博士	高	野	文 彦
副 査	筑波大学教授	理学博士	澤	田	克 郎
副 査	筑波大学教授	理学博士	小	寺	武 康
副 査	筑波大学助教授	理学博士	宗	田	敏 雄

論 文 の 要 旨

液体 ^3He は数mK以下の温度で超流動を示す。 ^3He 原子はフェルミ統計に従うので、この超流動の機構は超伝導と同じものと考えられ、実際超伝導のBCS理論によって説明されている。

ただし相互作用は短距離で強い反発力を示すので、クーパー対の波動関数は超伝導の場合とちがって大きさ1の軌道角運動量をもつものと考えられている。したがって対のスピンはtripletをつくり、波動関数の構造は複雑になる。実際には、実験で観測されている3つの超流動相に対し、対応する波動関数が考え出され、それぞれの性質をうまく説明している。

これらの相のうちA相と呼ばれる相は、軌道とスピンの2つの角運動量の方向を示すベクトル $\vec{\ell}$ と \vec{d} をもち、これらの向きは、容器の形や流れ、外部磁場の様子によってきまる。有限な容器内での超流動 $^3\text{He-A}$ の $\vec{\ell}$ の空間的構造を、液晶におけるdirectorの配置にならって、“texture”と呼んでいる。

このtextureは体系全体の自由エネルギーを、与えられた境界条件の下で最小にするようにきめられるが、主な自由エネルギーとしては次の2つがある。第1は秩序パラメーターの空間変化に伴うエネルギーで (gradientエネルギー)、第2がdipoleエネルギーである。後者は ^3He 原子のスピン軌道相互作用から生じ、 $\vec{\ell}$ と \vec{d} の間の角によってきまる。小さな容器ではこのdipoleエネルギーは無視できて、 \vec{d} は空間内で一様に分布する (dipole free case)。容器が大きくなると、dipoleエネルギーが

大きくなり、 \vec{d} は $\vec{\ell}$ と平行に並ぶ (dipole-locked case)。

流れや外部磁場のないときの境界条件は、 $\vec{\ell}$ が容器の壁に垂直であるというもので、この条件下で \vec{d} については上の2つの場合につきgradientエネルギーを最少にすることが問題になる。

円筒容器内におけるtextureについては、いくつかの構造が提唱されているが、最も合理的なものにMermin-Ho textureがある。これは円筒表面で壁に垂直な $\vec{\ell}$ が中心に近づくにつれて鉛直成分をもつようになり、中心では四方から集った $\vec{\ell}$ が完全に軸方向を向くというものである。これは軸の周りに環流をもち、角運動量保存則により反対向きの角運動量を常流体がもつことになる。この角運動量は観測されるはずであるが、実際には検証されていない。

この論文では、円筒の中心軸に沿って細い針金を張った容器内でのtextureを考える。環流をもつ構造が安定になるならば、常流体の反対流が針金を通じて検証できる可能性が大きいことに着目したものである。

本論文は4章より成る。第1章では超流動 ^3He のいろいろな性質を概観し、相図を用いて3つの超流動相の相対的な位置を明確にする。第2章では、微視的理論をまとめ、基礎となる自由エネルギーを導出している。

第3章が本論文の中心で、同軸円筒容器内でのtextureをとり扱う。1つの円筒の場合と異なり、内部の円筒の表面でも $\vec{\ell}$ は壁に垂直であり、内部と外部の表面の $\vec{\ell}$ が同じ向きのもの (O—O texture) と反対向きのもの (O— π texture) の2つが考えられる。

これらのtextureの安定な構造を求め、その自由エネルギーを比較することにより、最も安定なtextureを求める。どのtextureでも、自由エネルギーは、外径と内径の比 R の関数として求められ、 R がある値 R_c を越すと環流をもつO— π textureが最も安定になることが分った。この R_c の値は、dipole free caseでは 10^4 、dipole locked caseでは 10^2 と計算され、外径と内径を適当に選べば、反対流による針金のねじれは観測可能な大きさであることを示している。

審 査 の 要 旨

超流動 $^3\text{He-A}$ のつくるtextureについては、従来理論的研究は活発に行われていたが、その存在の実験的検証はなされていない。これの1つの原因は、円筒容器のような簡単な場合だけを考えたことにあり、反対流の検証が困難であったことであると考えられる。この論文では、共軸円筒という容器を考え、環流をもったtextureが適当な条件下で存在しうることを示し、反対流が中心の針金を通じて検証できる可能性が大きいことを指摘した点で、高く評価される。この論文を契機として、この方向のさらに詳しい研究が行なわれ、近い将来 $^3\text{He-A}$ のtextureの存在が実験的に検証されることが期待される。

よって、著者は、理学博士の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。